



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Kim Spora

# Nostoapuvälineen suunnittelutyö ja CE-hyväksyntä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

**15.5.2019**

|  |   |
|--|---|
| Tekijä<br>Otsikko  | Kim Spora<br>Nostoapuvälineen suunnittelutyö ja CE-hyväksyntä |
| Sivumäärä<br>Aika  | 18 sivua + 1 liite<br>15.5.2019                               |
| Tutkinto   | Insinööri (AMK)   |
| Tutkinto-ohjelma   | Konetekniikka   |
| Ammatillinen pääaine   | Valmistus- ja tuotantotekniikka                               |
| Ohjaajat   | Yliopettaja Jyrki Kullaa<br>Suunnittelupäällikkö Antti Kiuru  |
| <p>Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella yritykselle betoniastia vaurioituneen tilalle. Astian todettiin voivan toimia nostoapuvälineenä, joten suunnittelussa nojattiin nostoapuvälinestandardiin. Suunnittelussa tuli ottaa huomioon astian käyttötarkoitus, nostotavat ja standardin mukainen suunnittelu ja valmistus.</p> <p>Suunnittelu tehtiin SolidWorks 3D CAD-ohjelmalla. Jokainen astian osa mallinnettiin ja astia koottiin assembly-työkalulla. Simulaatiota varten astiasta piti suunnitella yksinkertaisempi malli. Se mallinnettiin yhdestä osasta usean osan sijaan. Astialle tehtiin FEM-simulaatio kolmen eri tilanteen mukaan; nostamalla pohjasta trukilla, nostamalla nosturilla kiinnityskohdista ja astian ollessa maassa. Simulaatiot suoritettiin 1x, 2x ja 3x nimelliskuormalla.</p> <p>Astia valmistettiin alihankkijan toimesta. Valmistajan toimesta astiaan lisättiin merkinnät sen nostorajoituksista. Laskelmilla todettiin astian kestävän rasitukset standardien rajojen mukaan, mikä riittää CE-tyyppihyväksyntää varten.</p> |   |
| Avainsanat   | Nostoapuväline, CE-merkki, 3D-suunnittelu, CAD, FEM           |

|  |   |
|--|---|
| Author<br>Title  | Kim Spora<br>Designing a Lifting Accessory and CE-Approval      |
| Number of Pages<br>Date  | 18 pages + 1 appendix<br>15 May 2019                            |
| Degree   | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme   | Mechanical Engineering  |
| Professional Major   | Production and Manufacturing Engineering                        |
| Instructors  | Jyrki Kullaa, Principal Lecturer<br>Antti Kiuru, Design Manager |
| <p>The objective this Bachelor's thesis was to design a new concrete bin for a client specialized in concrete products. The aim was to replace the old concrete bin due to deformations and breaking. The bin is considered to work as a lifting accessory, and therefore the lifting accessory standard could be used as a reference in design. The bin was supposed to be designed in a way that it could be lifted with a forklift and a crane.</p> <p>The design work was made with SolidWorks 3D CAD software. Every part of the bin was modeled separately. After modeling, the parts were assembled with the SolidWorks' assembly tool. Drawings were made from the parts as well as from the assembly. The simulation of the assembly had some problems when meshing, so a dummy-version of the bin had to be designed, in order to get the assembly simulated properly. The simulations calculate the stresses and deformations which occurs on the simulated product depending how strong forces are applied. The simulation method is called FEM as in the Finite Element Method. The FEM simulation was made in three different situations: lifting with a forklift, lifting with a crane and laying on the ground. Every situation was simulated with 1, 2 and 3 times using the maximum load. If the strength can be ensured with calculations, the bin can be CE approved. On the basis of the simulation results it can be concluded that the design fulfills the criteria based on the lifting accessory standard.</p> <p>The parts of the bin were manufactured and assembled by a subcontractor chosen by the client company. Labeling the bin with maximum load signs and applying the product plate and the CE -marking were carried out by the manufacturer.</p> |   |
| Keywords   | Lifting Accessory, CE-Marking, 3D-Design, CAD, FEM              |

## Sisällys

### Lyhenteet

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto  | 1  |
| 2     | Yritysesittelyt   | 2  |
| 3     | Nostoapuvälineen määrittäminen ja standardien vaatimukset | 2  |
| 3.1   | Nostoapuväline  | 2  |
| 3.2   | Eurocode 3  | 3  |
| 3.3   | CE-merkintä   | 4  |
| 4     | Suunnittelu   | 5  |
| 4.1   | Esivaatimukset  | 5  |
| 4.2   | Materiaalivalinta   | 5  |
| 4.3   | Suunnittelu, mallinnus ja ongelmanratkaisu                | 6  |
| 5     | FEM-analyysi  | 11 |
| 5.1   | Yleistä FEM-analyysistä                                   | 11 |
| 5.2   | Lyhyt raportointi astian FEM-analyysistä eri tilanteissa  | 12 |
| 5.2.1 | Astia maassa  | 12 |
| 5.2.2 | Nosto trukilla  | 13 |
| 5.2.3 | Astian nosto nostokorvista                                | 13 |
| 6     | Valmistus   | 16 |
| 7     | Yhteenveto  | 17 |
|       | Lähteet   | 18 |

Liite. Kokoonpanokuva

## Lyhenteet

|     |   |
|-----|---|
| CAD | <i>Computer aided design</i> . Tietokoneavusteinen mallinnus.                                     |
| CE  | <i>Conformité Européenne</i> . Standardin mukaisesti valmistetulle tuotteelle lisättävä merkintä. |
| FEM | <i>Finite element method</i> . Elementtimenetelmä. Kappaleiden rasituksien laskentamenetelmä.     |
| SFS | Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, suomalainen standardisoinnin keskusjärjestö.                 |

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön aihe oli nostoapuvälineeksi luokiteltavan astian suunnittelutyö CE-merkinnän vaatimusten mukaisesti.

Työn tarkoituksena oli suunnitella betoniyritykselle betoniastia korvaamaan aiemman astian, joka oli heikon suunnittelun ja valmistuksen takia epämuodostunut ja rikkoutunut. Aiempi malli oli valmistettu ohuesta, 4 mm paksusta levystä, ja se oli valmistettu erittäin yksinkertaisesti hitsaamalla kaksi isoa astian puolikasta toisiinsa. Astiassa ei ollut myöskään minkäänlaista taitosta tai lippaa, jolla olisi voinut helposti tuoda sille lisäkestävyyttä. Astia oli myös suunniteltu niin, että sen liikuttaminen oli käytännössä mahdotonta. Aikaisemmassa astiassa ei ollut mitään kohtaa, josta sen olisi voinut kiinnittää esimerkiksi nosturiin.

Betoniastia toimii eräänlaisena jätealtaana, johon ylimääräinen betoni laitetaan. Astiaa käytetään betonielementtitehtaan betonivalujen ylijäämäbetonin kuljettamiseen, sitä siis käytetään pääasiassa tehtaan tiloissa. Astiaa pitäisi pystyä liikuttamaan trukin ja nosturin avulla. Sen tulisi kestää betonin paino, ja toiveena oli suunnitella myös lenkit nosturin rakseille, joiden tulisi kestää myös astiaa nosturilla nostaessa.

Suunnittelutyö tehtiin Rejlers Oy:n toimesta Betonimestarit Oy:lle. Astian osien valmistus ja kokoonpano suoritettiin asiakkaan valitseman alihankkijan toimesta, joka on erikoistunut metalliosien valmistukseen ja hitsaustöihin. Osien valmistus ammattitaitoisessa metallialan yrityksessä varmistaa astian vaatimusten mukaisen valmistuksen. Astiaan lisättävät merkinnät, muiden muassa CE merkki ja maksimikuorma, suoritettiin astian valmistajan toimesta.

## 2 Yritysesittelyt

Rejlers Finland Oy on osa Rejlers Groupia, jolla on suunnittelupalveluja Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Insinööripalveluja tarjoava perheyritys perustettiin vuonna 1942. Nykyään Rejlers Group työllistää yli 2 000 työntekijää, joista Suomessa työskentelee noin 700. Rejlers Oy tarjoaa insinööripalveluja teollisuuden, rakentamisen, energian ja infran parissa.

Asiakasyritys Betonimestarit Oy on vuonna 1988 perustettu betonirakentamiseen erikoistunut yritys, joka valmistaa betonirakenteita ja ratkaisuja toimitila-, asuin- ja infrarakentamiseen. Yritys on toimittanut rakenteita muun muassa Kauppakeskus Jumboon Vantaalle ja Iso-Omena Espooseen.

## 3 Nostoapuvälineen määrittäminen ja standardien vaatimukset

### 3.1 Nostoapuväline

Standardi SFS-EN 13155 määrittelee turvallisuusvaatimukset ”nostureissa, nostimissa ja käsikäyttöisissä kuormankäsittelylaitteissa käytettäville, irrotettaville nostoapuvälineille.” Koska astia on nostolaitteesta irrotettava nostoapuväline, voidaan nojata tähän standardiin. Standardissa luetellaan erityyppisiä tarraajia ja nostimia. Tässä tapauksessa suunniteltava kappale voidaan luokitella nostopuomiksi. ”Väline, joka muodostuu yhdestä tai useammasta osasta, joissa on kiinnityskohtat useasta kohdasta kannatusta vaativien kuormien käsittelemiseksi.” Astia pystytään kiinnittämään nosturiin neljästä lenkistä, ja kuorman painopiste sijaitsee kiinnityskohtien alapuolella. Astia ei vastaa muodoltaan standardissa esitettyä nostopuomia, mutta tähän voidaan silti nojata, kun nostopuomi on toiminnoiltaan lähimpänä astian ominaisuuksia verrattuna muihin esimerkkeihin. [1, s. 8, 14.]

Nostoapuväline voidaan todentaa joko testaamalla väline kuormittamalla tai laskemalla. Testissä nostoapuvälinettä kuormitetaan kaksinkertaisella nimelliskuormalla minuutin ajan kuusi astetta yli suunnitellun työskentelykulman. Testi toistetaan jokaisen kallistussuunnan mukaan. Rasituksen jälkeen tarkastetaan laite muodonmuutosten, murtumien ja muiden vikojen varalta.

Mikäli edellä mainittuja ei havaita, laite täyttää hyväksymisperusteet. Kyseinen testaustapa koskee vain nostopuomin todentamista. Laskelmien avulla todentaminen suoritetaan laskemalla nostoapuvälineen kestävyys. Laskelmilla toteutettu rasitusanalyysi voidaan suorittaa muun muassa 3D-CAD-ohjelmistoilla. Tässä työssä käytetään SolidWorksin simulation-työkalua, josta käyvät ilmi suurimmat rasitukset, ja niitä vertailemalla materiaalien ominaisuuksiin voidaan todentaa riittävä kestävyys nostoapuvälineelle. [1, s. 100.]

### 3.2 Eurocode 3

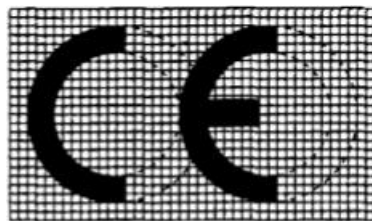
SFS-EN 1993-1-1 Eurocode 3 käsittelee teräsrakenteiden suunnittelua, ja sitä voidaan pitää ns. yleisstandardina teräsrakenteiden suunnittelussa. Tarkemmin Eurocode 3 koskee teräsrakenteiden kestävyyttä, käytettävyyttä, säilyvyyttä ja palonkestävyyttä. Standardi myös määrittelee, kuinka rakenneanalyysillä tulisi selvittää kappaleen käyttäytyminen rasituksen alla. Tarpeelliset tiedot rakenneanalyysiä varten saadaan suorittamalla FEM-simulaatio SolidWorks-ohjelmalla. Astia voidaan olettaa valmistettavan Eurocode 3:n mukaisesti, kun valmistus tapahtuu asiakkaan alihankintana metallituotteita valmistavalta yritykseltä. [2, s. 29.]



### 3.3 CE-merkintä

CE-merkintää voidaan pitää eräänlaisena laatumerkkinä, joka osoittaa, että tuote on valmistettu standardien vaatimusten mukaisesti. Merkinnän saamiseksi tuotteen tulee täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset, jotka poikkeavat toisistaan riippuen tuotteesta. CE-merkintä mahdollistaa esimerkiksi tuotteiden myynnin ja markkinoinnin Euroopassa. [3.]

CE-merkki koostuu nimensä mukaisesti kirjaimista CE. Merkin kokoa muutettaessa, täytyy kirjaimien mittasuhteiden säilyä kuten kuvassa 1 näkyy. CE-merkin koon tulee olla vähintään 5 mm, mutta tästä voidaan poiketa esimerkiksi pienten koneiden osalta, jolloin suurempaa merkkiä on mahdoton lisätä. Lisävaatimuksena CE-merkin sijoittelusta tuotteeseen on, että se tulisi kiinnittää ”valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan nimen välittömään läheisyyteen.” [4.]



Kuva 1 CE-merkki

Nostoapuvälineelle vaaditaan CE-merkintä, vaikka se valmistettaisiin omaan käyttöön. Itse valmistetuille nostoapuvälineille voi saada CE-merkinnän, jos väline täyttää tarpeelliset laatuvaatimukset ja on sekä suunniteltu että valmistettu standardin vaatimusten mukaan. Nostoapuvälineelle on myös laadittava käyttöohjeet väärinkäytön estämiseksi. Käyttöohje vaaditaan nostoapuvälinestandardin mukaan.

Nostoapuvälineeseen on kiinnitettävä tunniste, mistä käy ilmi välineen valmistaja, valmistusvuosi, maksimikuorma, omapaino ja sarjanumero. Samaan tunnisteeseen merkataan myös CE-merkki. Tiedot voidaan merkitä esimerkiksi ohueen ruostumattomaan teräslaattaan, joka kiinnitetään nostoapuvälineeseen esimerkiksi niiteillä. CE-merkintä tapahtuu nostoapuvälineen valmistajan toimesta, eikä esimerkiksi viranomaisten. Jotta merkintä voidaan lisätä tuotteeseen, tulee tuote valmistaa laatuvaatimusten mukaan. [3; 1, s. 64.]

## 4 Suunnittelu

### 4.1 Esivaatimukset

Betonimestarit Oy:n vaatimukset laatikon mitoille antoivat hieman ideaa siihen, kuinka suunnittelussa lähdetään liikkeelle. Päämitoiksi he antoivat noin 2 000 mm x 2 000 mm ja syvyyttä astialle noin 600 mm. Astian kylkien toivottiin olevan hieman kaltevia, jotta astian tyhjentäminen onnistuisi helpommin. Lisäksi astian liikuteltavuutta varten he toivoivat mahdollisuuden astian nostamiselle nosturilla ja trukilla. Arvioidun nostokyvyn astialle tulisi olla noin 5 tonnia.

### 4.2 Materiaalivalinta

Astian kylki- ja pohjalevyt valmistetaan 6 mm paksusta S355 teräksestä ja lattarautavahvikkeet ovat paksuudeltaan 10 mm ja valmistetaan samasta teräslaadusta. S355 teräs valittiin materiaaliksi kestävyytensä takia. Sen myötölujuus on 355 N/mm<sup>2</sup> ja murtolujuus 510...680 N/mm<sup>2</sup>. Myötörajan ylitys aiheuttaa kappaleeseen pysyvän muodonmuutoksen, jolloin kappale ei palaa alkuperäiseen muotoonsa, mutta ei vielä murru. Kappaleen murtolujuuden ylitys rikkoo kappaleen rakenteen. S355-teräslaatu on myös erittäin yleinen, eli sitä on helposti saatavilla. Myös sen helppo hitsattavuus sopii kyseiseen tuotteeseen. Lisäksi astiaan kiinnitettävät nostokorvat ja pohjaan kiinnitettävät neliöputkituet valmistetaan samasta materiaalista.

Nostokorvien materiaaliksi aluksi kokeiltiin S235-teräslaataa, mutta käytössä syntyvien rasiusten laskettiin synnyttävän voimia, jotka olivat korvan kestävyuden rajoilla. Kun materiaali vaihdettiin S355-laaduksi, nostokorvaan saatiin tarpeeksi suuri kestävyys. Kaikkien materiaalien yhtenäistäminen helpottaa myös materiaalinhallintaa.

#### 4.3 Suunnittelu, mallinnus ja ongelmanratkaisu

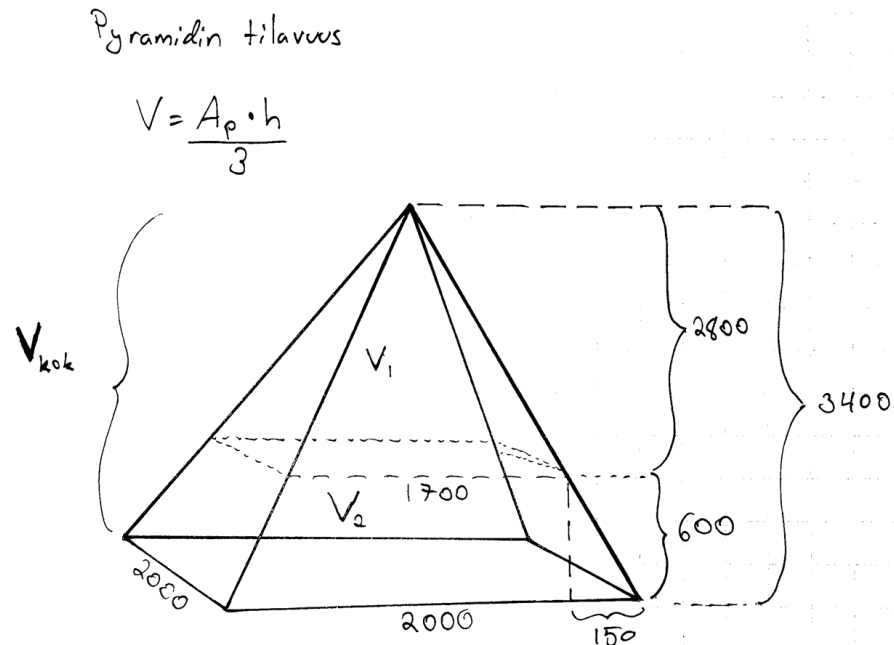
Suunnittelutyö lähti perinteisesti käyntiin paperille piirtäen ja keksien ideoita, kuinka astia olisi helppo valmistaa täyttäen yrityksen asettamat ja standardien mukaiset vaatimukset.

Prototyypeissä kokeiltiin eri tapoja kiinnittää nostokorva astiaan. Yksi ehdotus oli kiinnittää nostokorvat hitsillä astian sisäpinnalle, mutta tämä olisi aiheuttanut hankaluuksia astian tyhjentämisessä. Toinen tapa olisi ollut asentaa pultilla kiinnitettävä nostolenkki astiaan, mutta tämä olisi aiheuttanut pultin reikään liikaa rasiutusta. Lenkin vaurioituessa se olisi ollut helpompi vaihtaa ja lenkit olisivat olleet standardinmukaisia katalogituotteita, esimerkiksi RUD valmistaa kyseisiä tuotteita. Valikoimassa on myös hitsattavia versioita nostolenkistä, mutta helpommalla pääsee, jos metallipaja pystyy valmistamaan nostokorvan kohtuullisen helposti itse. Lopulta päädyttiin kiinnittämään itse suunniteltu nostokorva astian ulkokyljelle. [5.] (Liite)

Toinen suunnitelmallinen pohdinta liittyi kylkien taitoksien määrään, ja lopulta valittiin kaksi taitosta yhden taitoksen sijaan. Näin pystyttiin välttymään teräviltä reunoilta, mikä olisi voinut aiheuttaa vaaratilanteessa, esimerkiksi puristumisessa, vakavia ihmisvahinkoja.

Liitteessä on kokoonpanopiirustus kappaleesta. Jokaisesta astian kappaleesta tehtiin myös piirustukset, mutta jokaisen erillisen osan osapiirustusta ei liitetty työhön.

Astian tilavuuden laskuun voidaan soveltaa pyramidin tilavuuslaskun kaavaa. Vähentämällä koko pyramidin tilavuudesta  $V_{\text{kok}}$  pienemmän pyramidin tilavuus  $V_1$  saadaan astian oikea tilavuus  $V_2$ . Astian tilavuuden laskeminen tapahtui kuvan 2 mukaisesti:



$$\begin{aligned} V_2 = V_{\text{kok}} - V_1 &= \left( (2000_{\text{mm}} \cdot 2000_{\text{mm}} \cdot 3400_{\text{mm}}) : 3 \right) - \left( (1700_{\text{mm}} \cdot 1700_{\text{mm}} \cdot 2800_{\text{mm}}) : 3 \right) \\ &= 4,533 \text{ m}^3 - 2,697 \text{ m}^3 \\ &= 1,836 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kuva 2 Astian tilavuuden laskeminen

Astian ollessa täynnä betonia, lastin paino saadaan kertomalla betonin tiheys astian tilavuudella. Betonin tiheys on noin  $2\,500\text{ kg/m}^3$ .

$$M = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,836 \text{ m}^3 = 4590 \text{ kg}$$

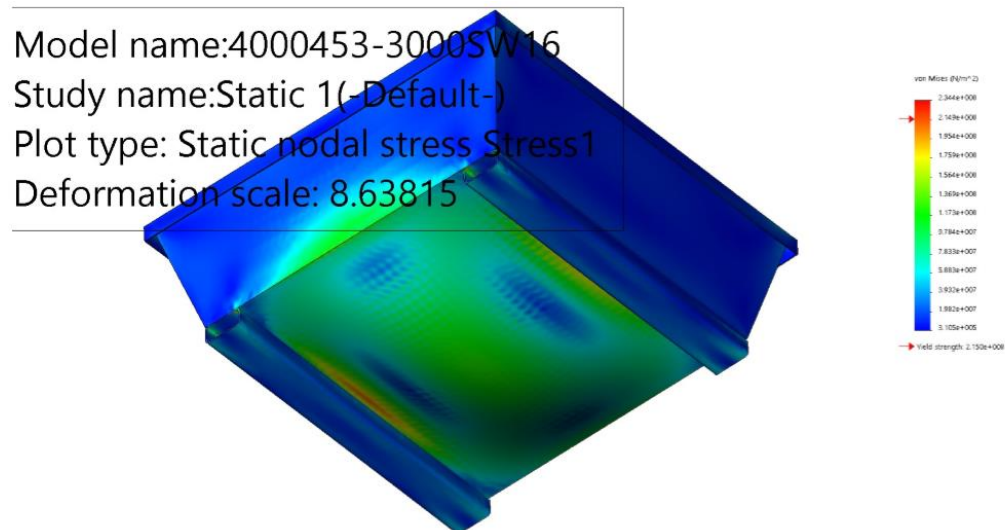
Voiman kaavalla saadaan laskettua nimelliskuorma  $N_n$ .

$$N_n = mg = 4590 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 45\,028 \text{ N}$$

Nimelliskuorma käsittää ainoastaan nostettavan kuorman, ilman astian omaa painoa. Astian laskettiin painavan noin 630 kg. Painoa ei laskettu mukaan yllä oleviin laskuihin, sillä SolidWorksin simulaatio työkalu osaa lisätä astian oman painon mukaan laskuihin, kun simulaatioon ilmoittaa painovoimaksi  $9,81\text{ m/s}^2$ . Tässä kohtaa on erittäin tärkeää, että mallinnettuun kappaleeseen on määritetty oikea materiaali, jotta paino ja muut ominaisuudet simuloidaan oikein.

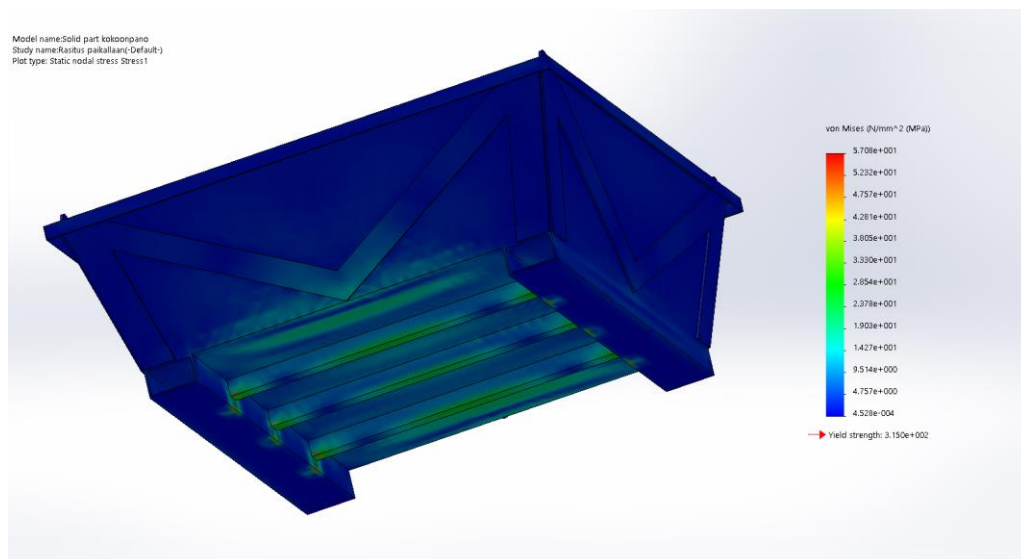
Nostoapuvälinestandardin mukaan nostoapuvälineen tulisi kestää kaksinkertainen nimelliskuorma niin, ettei siihen synny pysyviä muodonmuutoksia, eli  $2N_n = 90\text{ kN}$ . Nostoapuvälineen tulisi myös kestää kolminkertainen nimelliskuorma ilman murtorajan ylitystä, eli  $3N_n = 135\text{ kN}$ . Kappale simuloitiin kolminkertaisella nimelliskuormalla, jolloin maksimirasitus kappaleessa oli  $145\text{ N/mm}^2$ . Rasitus on alle myötörajan ( $355\text{ N/mm}^2$ ), joten voidaan todeta, että pysyviä muodonmuutoksia ja murtumia ei laskelmien mukaan synny kappaleeseen.

Aluksi kokeiltiin mallia, jossa on pelkästään astian kyljet taitettuna yläosasta lipaksi, pohja, sekä pohjaan kiinnitetyt kaksi  $200 \times 100 \times 8$  neliöputkea (kuva 3). Kylkiin arvioitiin aiheutuvan noin  $2\text{ kN}$ :n voima betonin hydrostaattisen paineen takia. Hydrostaattisen paineen laskeminen koitui hankalaksi, kun betonin tarkkoja ominaisuuksia ei voitu selvittää. Analyysin mukaan pohjaan syntyi paljon rasiusta, joten mallia piti muokata.



Kuva 3 Rasituskuva ensimmäisestä versiosta

Malliin lisättiin pohjaan kolme poikittaistukea 60 x 60 x 5 neliöputkesta, kulmiin ja kylkiin lisättiin 100 mm leveästä 10 mm paksusta lattaraudasta valmistettuja vahvikkeita (kuva 4). Tämän jälkeen analyysin mukaan rasitukset ja muodonmuutokset olivat huomattavasti pienempiä.



Kuva 4 Rasituskuva vahvistetusta astiasta  $N_n$  voiman alla.

Astian kylkien mallinnus suoritettiin SolidWorksin ohutlevytyökalulla, koska näin osille saadaan oikeanlaiset piirustukset, jotka toimitetaan metalliosien valmistajalle. Kylki- ja pohjalevyjen paksuudet ovat 6 mm. Levyn taitoksien sisäsäteenä on hyvä käyttää levyn paksuutta (6 mm) kerrottuna kahdella, eli tässä tilanteessa taivutuksien sisäsäteen tulisi olla 12 mm. Levyjen mittojen ei tarvitse olla täysin tarkkoja, joten K-arvona käytetään 0,5. K-arvolla kompensoidaan levyn taitoksesta aiheutuvia mittojen vääristymiä. K-arvoa tarvitaan, jos metallipajalla olevat työkalut eivät täsmää taitoksiin mitoitettuihin kulmiin ja joudutaan käyttämään erikokoisia työkaluja kanttauskoneella. K-arvon kanssa pystytään laskemaan uudet mitat, jotta valmistettu kappale vastaa mallinnettua kappaletta.

## 5 FEM-analyysi

### 5.1 Yleistä FEM-analyysistä

Lujuuslaskennan alkuaikoina pystyttiin helposti laskemaan yksinkertaisten palkkirakenteiden rasituksia, mutta nykyään tietokoneiden kehittyneen laskentatehon myötä monimutkaisiakin kappaleita saadaan laskettua kohtuullisessa ajassa. FEM eli *finite element method*, suomeksi elementtimenetelmä, on helppo ja nopea tapa laskea kappaleiden rasituksia ja muodonmuutoksia. Se tapahtuu jakamalla kappale sadoista tuhansiin yksinkertaisiin elementteihin riippuen laskettavan kappaleen koosta. Laskemalla jokaiseen yksittäiseen osaan kohdistuvat voimat saadaan kokonaiskuva siitä, mihin osiin kappaleessa kohdistuu erilaisia voimia. Elementteihin jaettua kappaletta voidaan kutsua elementtiverkoksi, englanniksi *mesh*. Jos kappale on jaettu erittäin pieniin osiin, rasituksen laskenta-aika pitenee, mutta samalla laskentatarkkuus paranee. Joskus liian isot elementit saattavat tuottaa vaikeuksia elementtiverkon teossa, jos mallinnettu kappale sisältää hankalia, pikkutarkkoja osia, jolloin elementtien pienentäminen on tarpeen. Yksinkertaisten ja suurien kappaleiden laskennassa on hyvä käyttää isompia elementtejä, jotta voidaan välttyä pitkiltä laskenta-ajoilta.

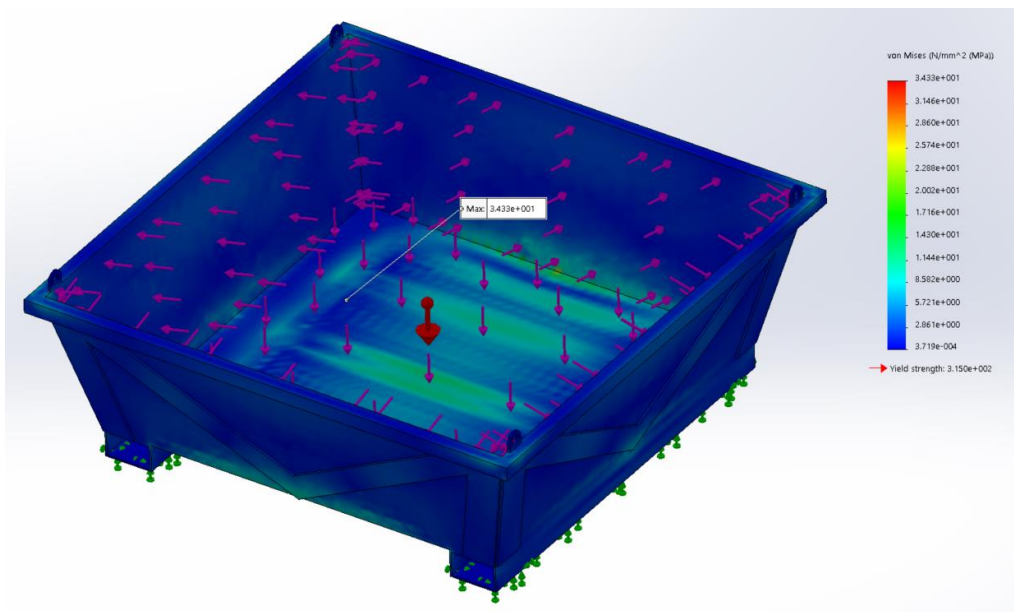
SolidWorksin simulation-työkalulla FEM-analyysi onnistuu hyvin, mikäli kappale on onnistuttu mallintamaan oikein. Työssä törmättiin sellaiseen ongelmaan, että kun kappale valmistettiin kokoonpanona, saumakohtissa, joihin oli ajateltu hitsisaumaa, kappaleen verkottaminen epäonnistui. Ongelma oli se, että saumoissa aineenpaksuus oli ohjelman mukaan nolla, jolloin elementteihin jako ei onnistunut. Tässä tilanteessa piti mallintaa vastaavanlainen kappale, mutta yksinkertaistettuna. Käytännössä tehtiin malli, joka oli valmistettu yhdestä osasta, jolloin saatiin simulaatiota varten saumakohtiin materiaalia ja elementteihin jako onnistui. Rasituksen määrä visualisoidaan SolidWorksissa värien avulla. Sininen väri tarkoittaa, että kappaleessa on vain vähän, jos ollenkaan rasitusta. Rasituskuviin on lisätty skaala, josta näkyvät rasitukset tarkemmin. Rasitusanalyysi suoritettiin kolmella eri tilanteella, joissa jokaisessa selvitettiin rasitukset 1x, 2x ja 3x kuormalla. Ensimmäinen tapaus on astian ollessa paikallaan maassa täydellä lastilla. Toinen tapaus on astiaa trukilla nostaessa. Kolmas tapaus on astiaa nostokorvista nostaessa.



## 5.2 Lyhyt raportointi astian FEM-analyyseistä eri tilanteissa

### 5.2.1 Astia maassa

Kuvassa 5 vihreät nuolet kuvaavat kiinnityskohtaa, eli tässä tapauksessa nuolet simuloivat lattiaa, joka tukee astiaa 200 x 100 putkien pohjasta. Punainen nuoli keskellä kuvaa painovoimaa,  $9,81 \text{ m/s}^2$ , jolla on erittäin pieni vaikutus lopputulokseen. Purppurat nuolet kyljissä ja pohjassa kuvaavat ulkoista kuormaa. Jokaiseen kylkeeseen arvioitiin aiheutuvan 2 kN:n voima ja pohjaan aiheutuu 45 kN:n tasainen voima. Kuvassa näkyy myös maksimirasitus, joka on 34 MPa. Maksimirasitus sijaitsee pohjan tukipalkkien kiinnityskohdan läheisyydessä. Maksimirasitus on reilusti alle myötörajan, joten pysyviä muodonmuutoksia kappaleeseen ei synny.

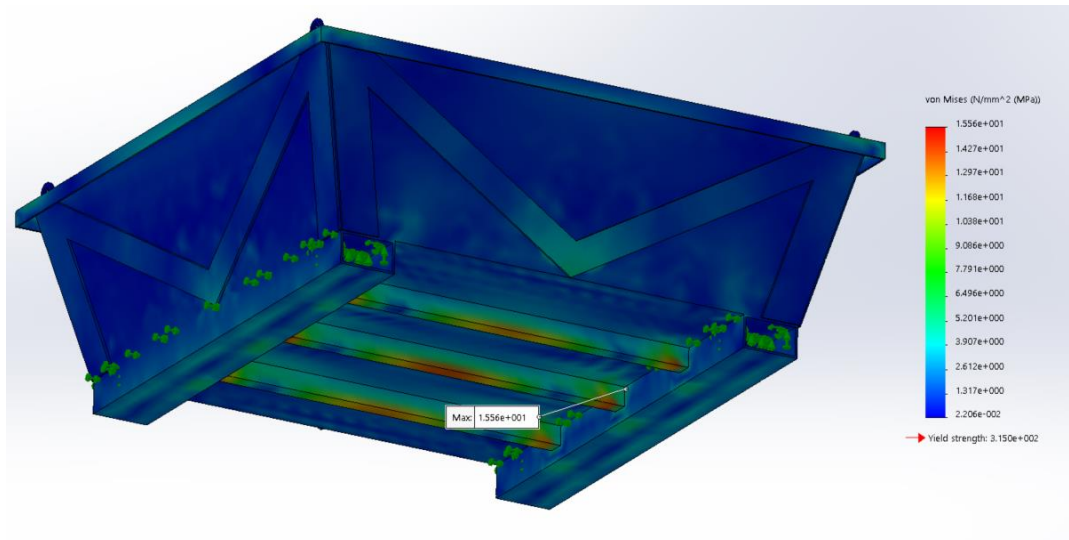


**Kuva 5** Analyysikuva astian ollessa maassa täydellä lastilla

Kuormitustilanteet laskettiin myös standardin vaatimien kertoimien mukaan. Nostoapuvälineen tulisi kestää kaksinkertainen nimelliskuorma ilman pysyvää muodonmuutosta. Kaksinkertaisen nimelliskuorman maksimirasitus simulaatiossa oli 67 MPa. Nostoapuvälineen tulisi kestää kolminkertainen nimelliskuorma ilman murtumista tai rikkoutumista. Kolminkertaisen nimelliskuorman maksimirasitus oli 101 MPa. Kummassakaan tilanteessa rasitukset eivät yllä edes myötörajalle, joten voidaan todeta astian olevan tarpeeksi kestävä.

### 5.2.2 Nosto trukilla

Tarkoituksena on ajaa trukin piikit 200 x 100 putkien sisälle ja nostaa. Piikit tulisi ajaa läpi asti, jotta rasitus jakautuu tasaisesti. Kuvassa 6 vihreät ”kiinnitysnuolet” ovat pohjan 200 x 100 palkkien sisäpuolen yläpinnassa, johon trukin piikit osuvat. Trukilla nostaessa simulaation mukaan suurin aiheutuva voima on 15,5 MPa. Kuvassa näkyy nyt enemmän värejä verrattuna edelliseen, kun rasituksen skaalaus on säädetty pienimmän ja suurimman rasituksen välille.



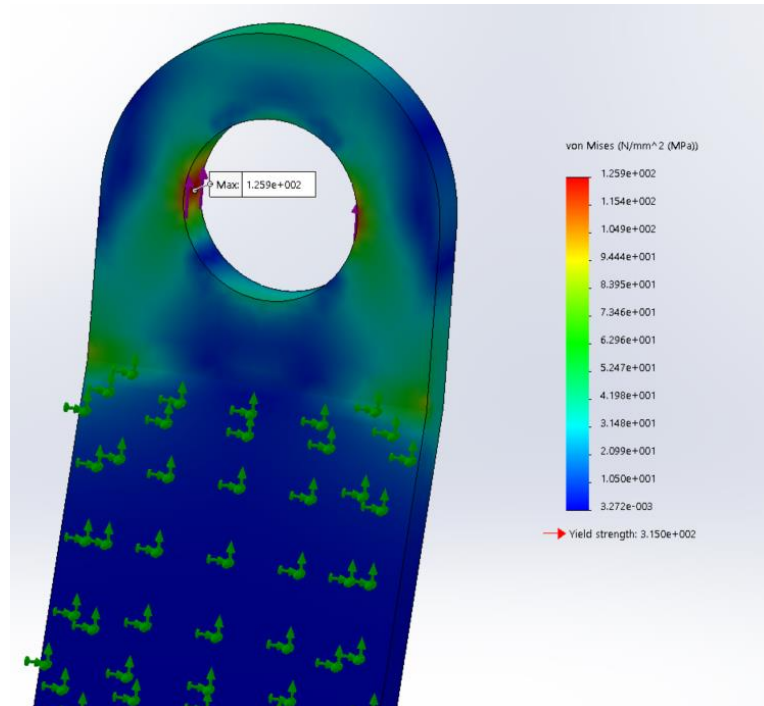
Kuva 6 Trukilla nostetun astian analyysikuva

Kaksinkertaisella kuormalla maksimirasitus oli 31 MPa ja kolminkertaisella kuormalla maksimirasitus oli 47 MPa. Rasituksilla ei synny pysyviä muodonmuutoksia

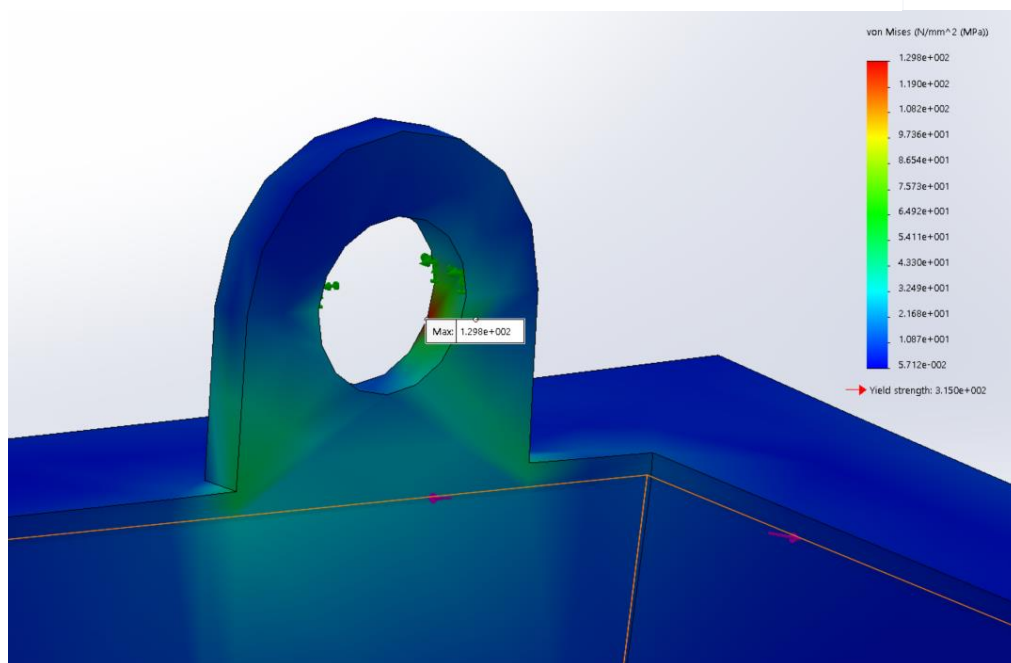
### 5.2.3 Astian nosto nostokorvista

Nostokorvien rasitus laskettiin kokoonpanomallissa ja sellaisenaan. Nostokorvia on neljä, joten voima jakautuu neljälle korvalle tasaisesti, eli yhden nostokorvan analyysi laskettiin vain neljäsosalla  $N_n$  rasituksesta. Analyysin mukaan yhteen nostokorvaan aiheutuu 126 MPa:n rasitus. Kuvassa 7 näkyy tarkemmin rasituksen sijainti nostokorvassa. Kokoonpanomallissa saatiin esille myös, kuinka astiaan syntyy rasituksia. Kuvassa 8 näkyy, kuinka astiaan syntyy pieni vetojännitys, kun nostokorvista

nostetaan. Kokoonpanokuvan mukaan suurin rasitus on 130 MPa, mikä poikkeaa hieman kuvan 7 analyysistä. Ero johtuu todennäköisesti siitä, konstruktio on erilainen kahden kappaleen välillä. Näin pieni ero maksimirasituksissa ei ole varteenotettava, kun kummassakaan tapauksessa rasitus ei yllä myötörajaan asti.

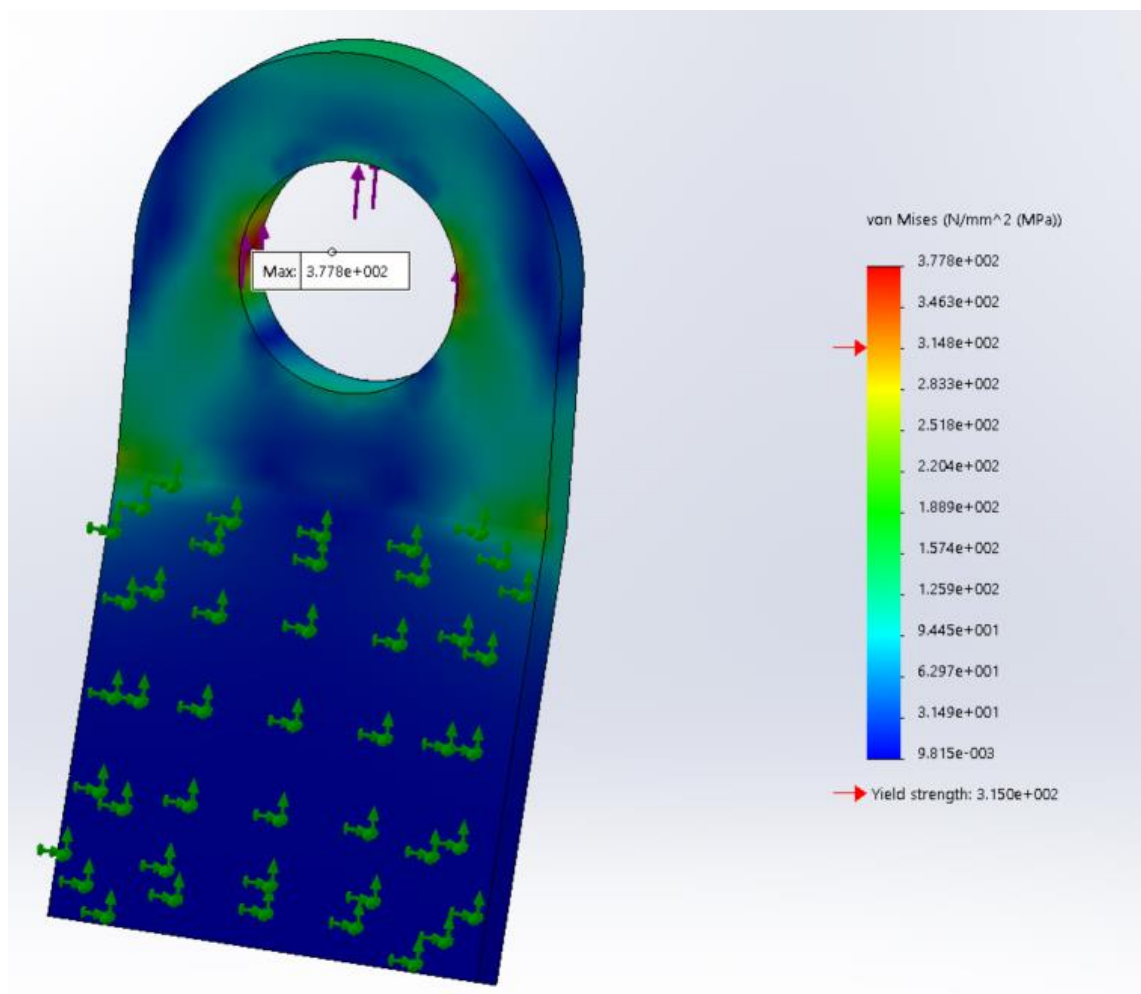


Kuva 7 Nostokorvan rasisituskuva



Kuva 8 Nostokorvan simulaatio kokoonpanossa

Nostokorvien rasitukset kaksinkertaisella nimelliskuormalla yltyvät 237 MPa:iin asti mutta rasitus silti pysyy hyvin alle myötörajan. Kun simulaatio suoritettiin kokoonpanoon liitetulle nostokorvalle, sen maksimirasitus nousi 341 MPa:iin. Rasitus laskettiin myös yksittäiselle nostokorvalle, jonka maksimirasitus kolminkertaisella kuormalla oli jopa 378 MPa (kuva 9). Näin suuren rasituksen takia kappaleeseen syntyy pysyviä muodonmuutoksia, koska 355 MPa:n myötöraja ylitetään. Mutta standardin vaatimuksena oli, että nostoapuvälineen tulisi kestää kolminkertainen kuorma ilman murtumia, mutta pysyvät muodonmuutokset sallitaan. Murtoraja käytetylle materiaalille on 510...680 MPa, joten voidaan todeta kappaleen säilyvän murtumilta, jos sitä rasitetaan kolminkertaisella kuormalla.



Kuva 9 Nostokorvan rasitussimulaatio kolminkertaisella kuormalla

## 6 Valmistus

Astian valmistus hankitaan Betonimestareiden valitsemalta metallialan yritykseltä. Levyjen leikkaus, taitokset ja kokoonpano, sekä astian tarkistus ja merkintöjen lisääminen tapahtuvat metalliyrityksen toimesta. Astiaan kuuluvista osista tehtiin piirustukset, joiden perusteella astian eri osat valmistetaan. Suuret kylki-, ja pohjalevyt leikataan 6 mm paksusta levystä ja tukipalat ovat 10 mm paksua 100 mm leveää lattarautaa.

Pohjaan sijoitettavat putket ovat valmista kauppatavaraa, joten niitä ei tarvitse erikseen valmistaa. Putket pitää kuitenkin leikata määrämittäihin.

Kokoonpanopiirustuksesta käyvät ilmi tarvittavat hitsaukset. Piirustukseen on merkattu pienen yleishitsiksi 4 mm:n a-mitta ja päittäishitsit ovat aineenvahvuisia. Erityistä vahvuutta vaativat kohdat, tässä tapauksessa nostokorvat, hitsataan 5 mm:n pienahitsillä kiinni. Kylkiin asennettavat lattarautatuet hitsataan 2 mm:n pienahitsillä, koska kyseiset saumat ovat erittäin pitkiä, joten a-mittaa pienentämällä voidaan vähentää muodonmuutoksia. Hitsaustavalla ei ole väliä, kunhan saumat ovat vesitiiviit. Kokoonpannun astian päälle maalataan tummanharmaa (värisävy RAL 7024) jauhemaalikerros, mikä tuo astialle korroosionkestävyyttä. Tämä on tarpeen, kun astia tulee kokemaan elinkaarensa aikana paljon kosteutta. (liite)

## 7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa asiakkaalle uusi betoniastia edellisen tilalle. Asiakkaan tilauksen perusteella alettiin suunnittelemaan

Työ lähti liikkeelle suunnittelusta asiakkaan esitietojen perusteella. Muutaman prototyypin jälkeen valmistettava malli saatiin suunniteltua, ensin paperilla ja sitten mallinnettuna CAD-ohjelmistolla.

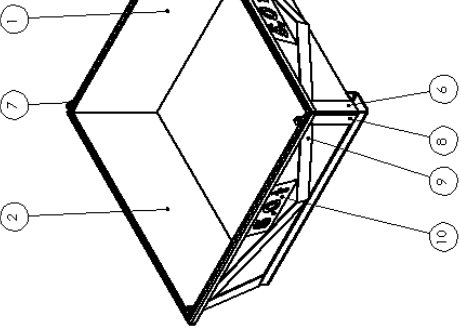
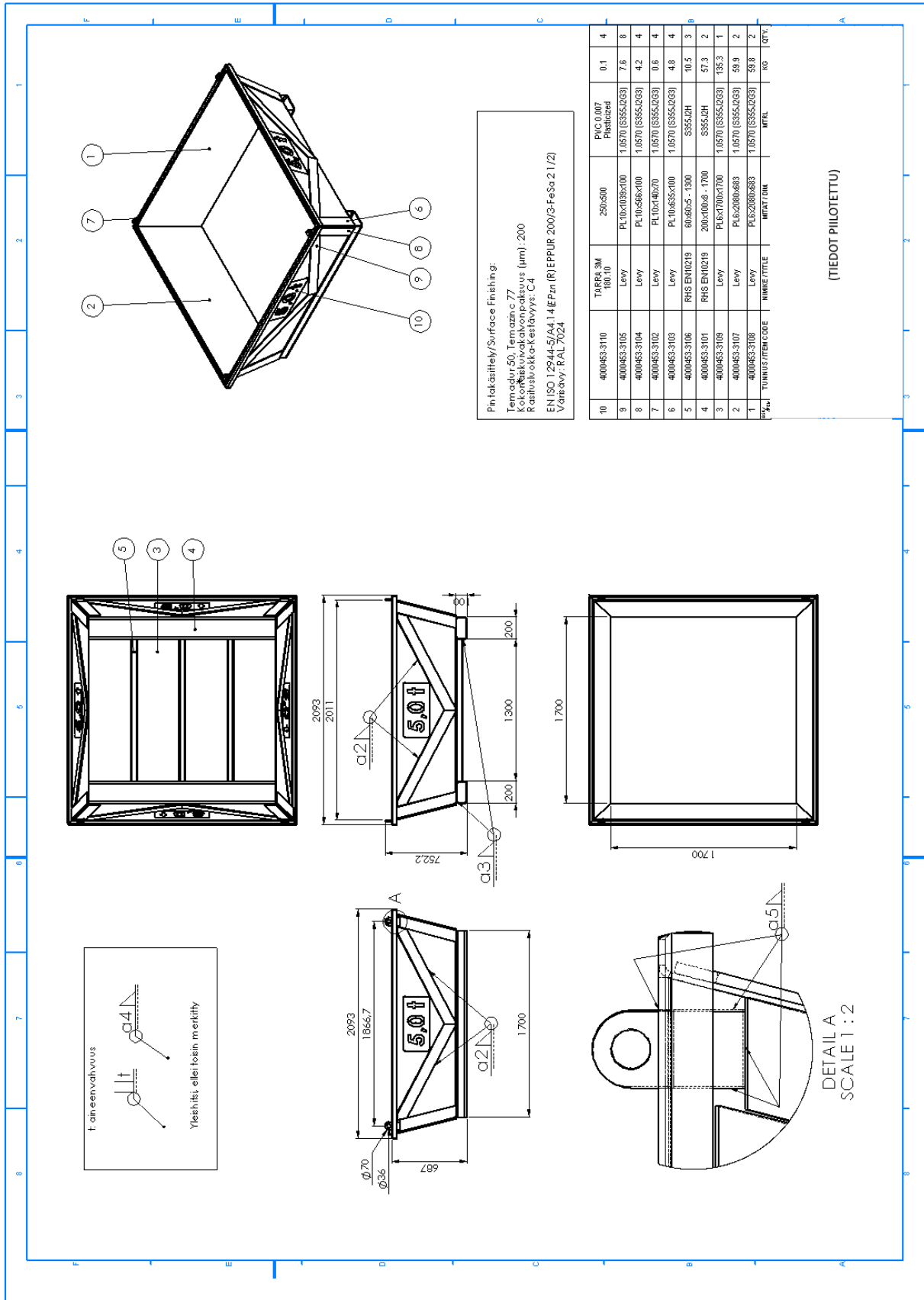
Suunnittelussa käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa ja FEM-simulointi tapahtui SolidWorksin Simulation-työkalulla. FEM-simulaatiossa käsiteltiin kolmea eri rasisuusmuotoa; nostoa trukilla, nostoa nosturilla ja astian ollessa maassa. Kaikki tilanteet laskettiin yksin-, kaksin- ja kolminkertaisella kuormituksella. CE-merkin saamiseksi piti pystyä vähintään laskennalla todentamaan nostoapuvälineen riittävä kestävyys. Rasisuusanalyysien tuloksia tutkimalla voitiin todeta astia tarpeeksi kestäväksi. Myös standardin edellyttämät kestävyysvaatimukset pystyttiin todistamaan simulaatioiden avulla.

Asiakkaalle lähetettiin osapiirustukset ja valmistuskuvat, joiden perusteella nostoapuväline pystyttiin valmistamaan. Samalla asiakkaalle toimitettiin suunnittelijan vakuus, joka vakuuttaa suunnittelun osuuden olevan standardien mukainen. Tämä vapauttaa suunnittelijan vastuusta, jos tuotteessa on valmistuksellisia puutteita tai vikoja, jotka eivät liity millään tavalla suunnittelun virheellisyyteen. Nostoapuvälineelle laadittiin käyttöohjeet. Ohjeissa ilmenee, kuinka astia tulisi kiinnittää nosturiin, ja ilmoittaa että liian suuria kuormia tai muuta kuin betonia ei astialla saa kuljettaa. Käyttöohjeiden laatiminen vaaditaan nostoapuvälinestandardin mukaan. CE-merkki voitiin lisätä astiaan, kun voitiin todentaa simulaatioilla riittävä kestävyys osille, ja astia on valmistettu vaatimusten mukaisesti. Nostoapuvälineen valmistaja lisäsi astiaan CE-merkin ja muut tarvittavat merkinnät, minkä jälkeen apuväline oli valmis käyttöönotettavaksi.

## Lähteet

- 1 SFS-EN 13155, Nosturit. Turvallisuus. Irroitettavat nostoapuvälineet.
- 2 SFS-EN 1993-1-1. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu.
- 3 Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. CE-merkintä.  
<https://www.sfs.fi/files/307/ce-merkinta2013.pdf>. viitattu 12.3.2019.
- 4 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY 2006. Liite 3, CE-merkintä.
- 5 RUD Group, nostolenkkikatalogi <https://www.rud.com/en/products/sling-lashing-systems/sling-systems/lifting-points/detail/rm-eye-nut-metric-thread.html>. viitattu 22.4.2019.

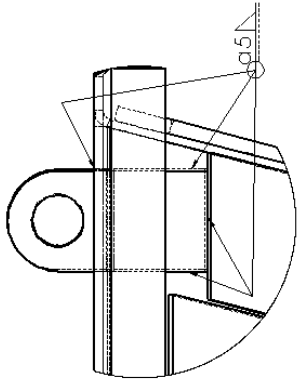
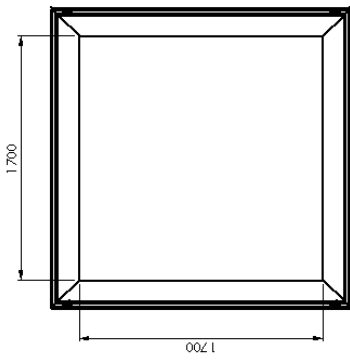
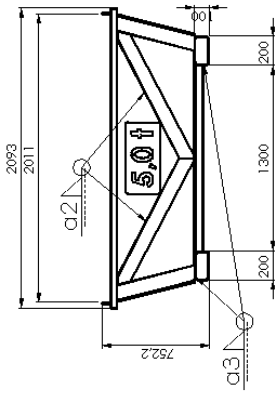
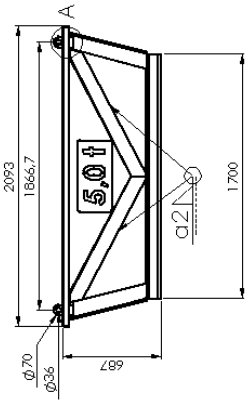
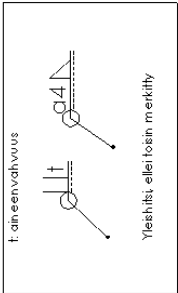
Kokoonpanokuva



Pinokkaitely/Surface Finishing:  
 Temoduur: 50, Temozin c 77  
 Käsitellyt/okoonpanokäytös (µm): 200  
 Resiini/okite/Resin/epoxy: CA  
 EN ISO 12944-5/A4.1/EPan (R)EPPUR 200/3-FeSa 2 1/2  
 Värisävy: RAL 7024

| NO | YHYSKODI     | NUMERITITTEL       | MITAT/OM         | MÄTL                     | TOG   | QTY |
|----|--------------|--------------------|------------------|--------------------------|-------|-----|
| 10 | 4000453-3110 | TARRA 3M<br>180.10 | 250x500          | PVC 0.007<br>Plasticized | 0.1   | 4   |
| 8  | 4000453-3105 | Levy               | PL10x1039x100    | 1.0570 (S355J0G3)        | 7.6   | 8   |
| 8  | 4000453-3104 | Levy               | PL10x596x100     | 1.0570 (S355J0G3)        | 4.2   | 4   |
| 7  | 4000453-3102 | Levy               | PL10x140x20      | 1.0570 (S355J0G3)        | 0.6   | 4   |
| 6  | 4000453-3103 | Levy               | PL10x635x100     | 1.0570 (S355J0G3)        | 4.8   | 4   |
| 5  | 4000453-3106 | RHS EN10219        | 60x60x5 - 1300   | S355J0H                  | 10.5  | 3   |
| 4  | 4000453-3101 | RHS EN10219        | 200x100x6 - 1700 | S355J0H                  | 57.3  | 2   |
| 3  | 4000453-3109 | Levy               | PL6x1700x1700    | 1.0570 (S355J0G3)        | 135.3 | 1   |
| 2  | 4000453-3107 | Levy               | PL6x2080x683     | 1.0570 (S355J0G3)        | 59.9  | 2   |
| 1  | 4000453-3108 | Levy               | PL6x2080x683     | 1.0570 (S355J0G3)        | 59.9  | 2   |

(TIEDOT PIILOTETTU)



DETAIL A  
SCALE 1 : 2